

La situación actual del sistema de monitoreo ambiental en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México

María Perevochchikova*

Se ha visto que sin un sistema de monitoreo ambiental integral y eficiente, que proporcione datos duros de soporte para un diagnóstico de la situación ambiental, no es posible elaborar nuevas políticas públicas para resolver la problemática que enfrentan las áreas urbanas. En el presente trabajo se revisa la situación actual del sistema de monitoreo ambiental de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México desde tres ángulos: climatológico, hidrométrico y de calidad de aire. Asimismo se detectan sus principales avances, limitaciones y otras particularidades y al final se complementa el monitoreo ambiental con la parte social y económica.

Palabras clave: degradación ambiental, monitoreo ambiental, Zona Metropolitana de la Ciudad de México.

Fecha de recepción: 20 de agosto de 2008.

Fecha de aceptación: 11 de marzo de 2009.

The Current Status of Environmental Monitoring in the Mexico City Metropolitan Zone

It has been proved that without an efficient, integral environmental monitoring system that provides hard back-up data for a diagnosis of the environmental situation, it is impossible to draw up new public policies to solve the problem faced by urban areas. This paper reviews the current status of environmental monitoring in the Mexico City Metropolitan Zone from three angles: climatological, hydrometric and air quality. It also detects the main progress, limitations and other particularities and at the end, environmental monitoring is complemented by the social and economic part.

Key words: environmental degradation, environmental monitoring, Mexico City Metropolitan Zone.

* Profesora investigadora del Centro de Estudios Demográficos Urbanos y Ambientales de El Colegio de México. Correo electrónico: mperevochchikova@colmex.mx.

Introducción

Como se sabe, a partir del siglo XVIII el mundo ha experimentado un crecimiento demográfico muy significativo que desde mediados del siglo pasado ha seguido una tendencia exponencial. Este crecimiento ha detonado el proceso de aglomeración poblacional en las áreas urbanas con la formación de grandes zonas metropolitanas e incluso megaciudades. Actualmente cerca de la mitad de la población mundial vive en las urbes y existen en el mundo 20 megalópolis, de las cuales cuatro se encuentran en América Latina: Ciudad de México, São Paulo, Buenos Aires y Río de Janeiro. Se pronostica que para el año 2030 la población urbana mundial puede llegar a 5 000 millones de habitantes y representar así 60% del total (UNFPA, 2004). En el caso de México, para ese año 53% de su población se concentraría en 35 grandes ciudades con más de 500 000 habitantes, como México, Guadalajara, Monterrey, Puebla, entre otras. Si se considera que en las zonas urbanas buena parte de la población convive en espacios geográficos que por lo regular son reducidos y –como ha sido notorio históricamente– consume en forma depredadora los recursos naturales con el fin de satisfacer las necesidades producto del desarrollo, es indispensable mencionar que esto ha acarreado todo tipo de problemas de carácter social, económico y, sin duda, de impacto ambiental, tanto en los propios territorios como en sus alrededores. Entre los problemas ambientales más reconocidos destacan: la contaminación del aire, el agua y el suelo, la disminución en la disponibilidad de recursos naturales, los cambios en el régimen de funcionamiento físico del paisaje, las modificaciones en el régimen hidrológico, la pérdida de ecosistemas, etc. Todos ellos afectan directamente el bienestar, la seguridad y la calidad de vida de la sociedad. Esto significa, en términos del previsto aumento poblacional, que se sufrirá a futuro un mayor impacto ambiental, que llegará tal vez, en los escenarios más pesimistas, al colapso de todo el ecosistema global en la Tierra.

Conviene recordar al respecto que a principios de los años setenta del siglo pasado, y en vista precisamente de la creciente degradación ambiental ocasionada por la extracción y el uso en extremo ineficiente de los recursos naturales en el mundo entero, se empezó a hablar de la formulación de nuevas teorías y metodologías que en forma ideal habrían de reflejarse más tarde en el cambio de las existentes políticas ambientales, buscando equilibrar los objetivos del progreso económico de cada país con el funcionamiento físico de la naturaleza, y en

particular con el ciclo de regeneración natural de los ecosistemas, productores de múltiples servicios ambientales para la humanidad. Fue justamente en estos años cuando se expuso un planteamiento innovador sobre la problemática ambiental con base en las interrelaciones de los distintos medios involucrados (físicos, sociales, económicos y políticos), y se incorporaron para este fin aportes del conocimiento de las ciencias sociales y naturales. Así, se transformó la ideología predominante hacia la interdisciplinariedad e integralidad en el manejo de los recursos naturales, que se consolidó para la década de 1980 como el principal concepto metodológico del manejo integral y ecosistémico (Andrade, 2004).

Desde este punto de vista y tomando las decisiones político-administrativas adecuadas, para dar solución a los problemas ambientales se requiere la aplicación de diversas acciones tecnológicas, político-administrativas y legislativas, entre otras. Dichas acciones deben tener un programa integral de seguimiento elaborado con base en los resultados del análisis riguroso de *la situación ambiental* (UNDP, 2005). En éste se revela la complejidad de la problemática mencionada, ya que incluye las caracterizaciones sectoriales de los medios involucrados y un diagnóstico sistémico del desarrollo histórico del proceso de deterioro ambiental. Requiere además una red de monitoreo ambiental funcional que proporcione datos duros de soporte, suficientes y confiables, sobre las observaciones de las características del clima, el agua y el suelo.

El principal objetivo de este trabajo es la revisión de la situación actual del sistema de monitoreo ambiental de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México. Es reconocido que este territorio presenta la mayor vulnerabilidad ambiental de todo México, y que allí urge la elaboración y la aplicación de nuevas prácticas en la gestión ambiental. El presente estudio se enfoca en la detección de los avances y las limitaciones –entre otras particularidades– del sistema, utilizando las fuentes oficiales de información, en particular las bases de datos de las estaciones de monitoreo de la calidad de aire, hidrométricas y climatológicas, los mapas interactivos, la cartografía en formato digital e impreso, las estadísticas oficiales y las publicaciones científicas. A partir de esta revisión pretendemos detectar los puntos críticos a resolver para mejorar y fortalecer la misma red de monitoreo, así como ofrecer una herramienta práctica para el desarrollo de nuevas políticas ambientales sólidas y viables.

Problemática local

La Zona Metropolitana de la Ciudad de México (ZMCM), que constituye uno de los fenómenos extraordinarios del desarrollo urbano mundial, es una de las 20 megaciudades del mundo y una de las cuatro ubicadas en América Latina. La conforman 16 delegaciones del Distrito Federal y 35 municipios conurbados del Estado de México (INEGI, 2005) y se ubica en la parte central de los Estados Unidos Mexicanos, en el espacio natural denominado Cuenca de México (véase el mapa 1). La extensión territorial de la ZMCM es de 4.9 mil km² (cerca de 0.3% del territorio nacional) y la población que la habita alcanza alrededor de 20 millones de personas (20% del total del país).

La ZMCM concentra el poder político y económico del país; aquí se genera 32% de su producto interno bruto (PIB) (Conagua, 2006) y se encuentran las oficinas centrales de los gobiernos federal, estatal (del Distrito Federal y el Estado de México) y local de los municipios conurbados. Por esas características y por los atractivos que en lo laboral, cultural, tecnológico e institucional ofrece a la gente, como otras grandes ciudades del país, existe un continuo flujo migratorio hacia la ciudad en busca de mejores oportunidades. Esta situación, junto con el crecimiento demográfico dentro de la zona metropolitana, representa el fenómeno de la expansión urbana en términos espaciales, en este caso hacia la periferia, transformando el territorio en centenas de kilómetros alrededor y cambiando las características naturales del paisaje original.

En cuanto al contexto geográfico, hay que comentar que el clima de esta zona varía de templado a semifrío, pues se encuentra en la cobertura del trópico de Cáncer y alcanza en su extremo sur a la región Neártica. De acuerdo con la regionalización ecológica, la ZMCM se localiza en la parte este del Sistema Neovolcánico Transversal y forma parte de la región fisiográfica llamada Eje Neovolcánico (INEGI, 2005) y del ecosistema de Bosque Templado. Por todo ello puede decirse que el área se encuentra en condiciones climáticas favorables y de gran biodiversidad ecológica.

Como espacio natural, la ZMCM ocupa toda la parte sur de la Cuenca de México, cuenca endorreica con una superficie de 9 600 km², ubicada a una altura promedio de 2 240 metros sobre el nivel del mar (msnm) y rodeada de grandes sierras, cuya altura supera 4 000 msnm. Originalmente esta zona contaba con un sistema de lagos someros cuya composición química era muy particular y que se unían en épocas de

MAPA 1
La Cuenca de México, Distrito Federal y la ZMCM



FUENTE: Elaboración propia con base en INEGI, 2005, mapa 1.1.3.

lluvia para formar en algunas ocasiones un solo espejo de agua, pero han sido desecados y sustituidos por áreas urbanas durante los últimos seis siglos. Administrativamente, de acuerdo con la Comisión Nacional del Agua de México (Conagua, 2006 y 2008) el territorio de la ZMCM pertenece a la Región Hidrológica Administrativa XIII (RHA XIII) del Valle de México y Sistema Cutzamala, y forma parte de la Región Norte, Centro y Noroeste, cuyo nivel de disponibilidad natural de agua es el más bajo del país, con 1 734 m³ de agua por habitante al año y hasta 89 m³ por segundo en la Cuenca de México, considerando el continuo crecimiento de la población en esta zona.

Se cree que la interacción de estos tres factores: la gran concentración poblacional, el alto índice de desarrollo económico y unas

condiciones geográficas específicas, resulta en toda la complejidad de la problemática social, económica, tecnológica y ambiental de la ZMCM, la cual se refleja en una diversidad de dificultades, como la migración, el desempleo, la pobreza, el tráfico de personas, la corrupción, la delincuencia, el alcoholismo, las enfermedades y el deterioro ambiental. Entre los problemas de *deterioro ambiental* en la Cuenca de México provocados por las actividades humanas que se mencionan y reconocen con mayor frecuencia destacan:

- la contaminación del aire (por emisiones del transporte e industrias);
- la contaminación del agua (por descarga directa de desechos domésticos, industriales y agrícolas);
- la contaminación del suelo (por depósito de basura, lluvias ácidas, uso de agroquímicos, etc.);
- el hundimiento del suelo (por extracción inadecuada de agua subterránea y construcciones pesadas);
- el cambio de régimen hidrológico natural de la cuenca, reflejado en la disminución de la disponibilidad natural del agua subterránea (por el cambio de uso del suelo, la merma de la vegetación originaria y la extracción ineficiente del agua), así como en el aumento de inundaciones en la zona urbana (por hundimiento diferencial del suelo, servicio deficiente del sistema de drenaje, construcciones poblacionales en zonas de alto riesgo, etcétera).

Todos estos factores influyen en el ecosistema natural originario del territorio (Reboratti, 1999) y a veces lo cambian en forma irreversible a uno artificial y sostenido sólo bajo la dominación de los factores antrópicos que inicialmente lo modificaron (Shelutko, 2002). Estos *nuevos ecosistemas, socialmente construidos*, pierden algunas y en ocasiones todas sus características naturales y se vuelven dependientes de la actividad humana, sin que sea posible regenerar las condiciones ambientales originarias, lo cual provoca respuestas negativas inmediatas y en el largo plazo (en efecto bumerán) sobre la misma población. Puede decirse que la metrópoli mexicana representa un claro ejemplo de vulnerabilidad multifactorial de un ecosistema de este tipo, y que en la actualidad enfrenta cruciales desafíos en materia ambiental.

Aspectos teóricos

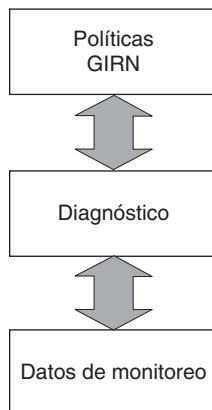
Los desafíos que enfrenta la ZMCM en materia ambiental requieren el desarrollo e instrumentación de estrategias innovadoras que coadyuven a la solución integral de la problemática, incluyendo acciones políticas, legislativas y tecnológicas dirigidas a favorecer los principios de sustentabilidad en el manejo de los recursos naturales.

Cabe recordar que desde principios de los años setenta del siglo pasado empezó a tomar fuerza en el mundo el movimiento ambientalista, cuya labor se ha reflejado en la firma de múltiples tratados internacionales (por ejemplo, RAMSAR, 1971; PNUMA, 1972; CAMA, 1992) y en la elaboración y adaptación de medidas y acciones concretas (Agenda 21, 1992; RAMSAR, 2002; UNEP, CBD, 2002) encaminadas a poner énfasis en la gestión *ecosistémica e integral* de los recursos naturales. Este movimiento considera que existe una fuerte interacción entre todos los factores físicos de la naturaleza de la cadena “aire-agua-suelo” con toda la biodiversidad que ésta soporta (la flora y la fauna), incorporando además los factores antrópicos (los seres humanos con sus actividades) que influyen en el cambio del ambiente. Busca equilibrar los objetivos del desarrollo económico de los países con el funcionamiento físico de la naturaleza, en particular con el ciclo de regeneración natural de los ecosistemas, productores de distintos servicios ambientales para la humanidad. Asimismo se interesa por la aplicación de nuevas teorías y metodologías que sirvan de base para la toma de decisiones a largo plazo y por el cambio de las políticas públicas predominantes.

Para diseñar las políticas ambientales es necesario realizar una evaluación previa integral (*un diagnóstico*) de la evolución de la *situación ambiental* a través del tiempo, que con base en información confiable y adecuada (datos duros de soporte) revele los diversos problemas que la han afectado, sus causas, efectos y procesos, para lo cual es indispensable contar con un *sistema de monitoreo ambiental* funcional, que proporcione datos suficientes y confiables tras la observación climatológica, hidrométrica, de la calidad del aire, del agua y del suelo para su posterior procesamiento analítico y logístico. El esquema de la relación entre las políticas públicas que determinan la gestión de recursos naturales y el sistema de monitoreo puede apreciarse en el esquema 1. Esta relación se refleja en el esquema de causalidad propuesto por la OCDE “presión-estado-respuesta” (Herrera, 2000).

ESQUEMA 1

Relación entre la gestión de recursos naturales y datos de monitoreo



En México y en el mundo la elaboración de estudios y análisis de la situación ambiental se ha llevado a cabo por medio de la aplicación de diferentes técnicas e incluso de diversos conceptos metodológicos, los cuales se agrupan como sigue:

- 1) Síntesis de datos estadísticos (Conagua, 2004 y 2006).
- 2) Caracterización sectorial estadístico-cartográfica (DGCOH, 1997; Carabias *et al.*, 2005; INE, 2006; INEGI, 2005).
- 3) Análisis sistémico
 - bajo aplicación del concepto de ecología (Huggett, 1995; Bailey, 1995; Casado, 1997; Richling y Osowiec, 2001);
 - bajo aplicación del concepto ecosistémico (Andrade, 2004; Odum, 1982);
 - bajo los conceptos de integralidad y sustentabilidad (Tortajada, 1999; Tortajada *et al.*, 2004; García, 1987).
- 4) Análisis de impacto ambiental (Shiklomanov, 1989; Perevochchikova, 2006; Tortajada, 1999).

Aunque la bibliografía mencionada representa sólo una pequeña parte del material que se ha elaborado al respecto, se advierte que con un simple análisis de la recopilación y caracterización sectorial pueden encontrarse estudios con enfoque integrador ecosistémico.

El concepto metodológico *del sistema de monitoreo ambiental* supone que se trata de un sistema integral de *seguimiento* continuo de observaciones y mediciones de las diferentes características del ambiente natural para su posterior evaluación y el pronóstico de los cambios experimentados bajo la influencia antrópica y de los factores naturales (Belousova *et al.*, 2006). Cabe aclarar que este concepto no es de reciente aparición. Según Gorman y Conway (2005) las sociedades preagrícolas y agrícolas practicaban observaciones de la naturaleza, aunque en forma primitiva, con el fin de que les sirvieran como apoyo en sus actividades cotidianas. Por ejemplo, observaban el desplazamiento de las aves y de los animales, el crecimiento de las plantas, la fertilidad de las tierras, los ciclos temporales del año, el cambio de día y noche, etc., todo lo cual se ha reflejado en las tradiciones culturales imperantes en diferentes partes del mundo (Rappaport, 1968). Pero fue apenas entre 1880 y 1920 cuando la humanidad empezó a darse cuenta del grado de contaminación y de los radicales cambios que provoca en la naturaleza la actividad económica. Los primeros monitoreos de la calidad ambiental y de la calidad del agua se realizaron en varias ciudades de Estados Unidos (Melosi, 2001). En los años 1960, dado el severo deterioro y la crítica situación ambiental en prácticamente todo el mundo ocasionada por la descontrolada industrialización, las prácticas altamente consumidoras y el uso irracional de los recursos naturales, fueron reconocidas la necesidad y la importancia de contar con registros históricos de observación ambiental que posibilitaran el análisis de las causas de las modificaciones ocurridas para buscar soluciones adecuadas. Tal situación impulsó el establecimiento de las redes de monitoreo de carácter internacional (Meadows *et al.*, 1972).

Es preciso considerar que el concepto de monitoreo es mucho más amplio que un simple aspecto técnico de la observación geográfica, pues se trata de:

- un sistema sociotecnológico en el que participan científicos, ingenieros, políticos, administradores, etc.;
- un sistema de interés interinstitucional, porque abarca intereses de las instituciones sociales, políticas, económicas, de regularización ambiental, ordenamiento territorial, política energética, e incluso de seguridad nacional;
- un concepto que evoluciona continuamente para incluir nuevos aspectos; conforme se amplía el conocimiento científico

surgen modernizaciones en la tecnología y modificaciones en las leyes y normas;

- en los planos global, regional y local el monitoreo puede ser visto a escalas espacial y temporal (perspectiva histórica de cambios). Además, en la escala espacial intervienen dos subdivisiones territoriales: la limitación administrativa y la natural (como los límites municipales y las cuencas hidrográficas).

El sistema de monitoreo ambiental suele incluir varios subsistemas (o bloques) de medición de diferentes componentes de la naturaleza (como la atmósfera, la biosfera, la hidrosfera y la litosfera). Se evalúan las siguientes características: la calidad del aire, la climatología, la calidad y la cantidad del agua superficial y subterránea y la sedimentación de los cauces, la química y el uso del suelo. Por otro lado, no se debe descartar la importancia del monitoreo ambiental para la verificación del efecto de cambio climático (Gleick, 2000), relacionado en forma directa con el proceso del desarrollo urbano industrial y con el cambio radical del uso de suelo, todo lo cual se refleja globalmente en el efecto invernadero; en el plano regional se aprecia en el cambio de régimen hidrológico (de la intensidad y distribución de los fenómenos hidrometeorológicos extremos, como lluvia torrencial, sequías, inundaciones, etc.), y en el ámbito local en las modificaciones de las condiciones microclimáticas.

De la eficiencia del sistema de monitoreo ambiental –su actualización, su integración, la confiabilidad de los datos, la continuidad de las mediciones en el tiempo y la representatividad de las estaciones en el espacio– depende la calidad de la información que se ofrece y que resulta esencial para la evaluación de la situación ambiental y para la toma de decisiones apropiadas. Es así que al sistema de monitoreo ambiental le corresponde un lugar de crucial importancia en la organización administrativa del proceso de manejo integral y ecosistémico de los recursos naturales.

Metodología

En torno a los sistemas de monitoreo ambiental se han publicado en los últimos años múltiples estudios científicos tanto de carácter nacional como internacional, pero la mayoría de ellos se concentra en la resolución de las problemáticas sectoriales sobre la obtención y el uso

de los datos provenientes de las observaciones del clima, la calidad del aire, los recursos hídricos, el suelo y la biodiversidad (Gorman y Conway, 2005; FEMISCA, 2008; SMA-DF, 2007; Conagua, 2008a). En específico han sido abordados ciertos temas, entre ellos el monitoreo del suelo y sus aplicaciones (Marshall *et al.*, 1996), el desarrollo de sistemas de soporte de decisiones para monitoreo de ríos (Manos *et al.*, 2004), la creación de índices de calidad del aire (Longhurst, 2005), la aplicación de nuevas herramientas como sistemas de información geográfica para el monitoreo biológico (Leimgruber *et al.*, 2005) y de calidad del agua en territorios urbanos (Mehaffey *et al.*, 2005). Sin embargo, prácticamente no se encuentran investigaciones que traten sobre la integralidad del concepto de monitoreo ambiental dentro del esquema de diseño de políticas públicas (The Rockefeller Foundation, 1977) y destaque las limitaciones de cada red y la necesidad de incorporación de otros medios (social y económico) para lograr la instrumentación de los principios ecosistémicos adoptados en la gestión de recursos naturales (UNEP, CBD, 2002; UNDP, 2005).

De ahí que el presente trabajo se aboque a la revisión del sistema de monitoreo ambiental en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México en lo referente a los módulos de la calidad del aire, y la cantidad y calidad del agua, sin incorporar el análisis del suelo, ni el de la vegetación, dada la escasez de la información oficial suficiente, ni tampoco de abordar los aspectos sociales y económicos, que sin duda tienen que formar parte de un análisis integral de la situación ambiental como esta revisión, por lo cual al final del trabajo se presenta una propuesta preliminar para su incorporación.

Se propone llevar a cabo la investigación mediante la aplicación de submétodos genéricos analíticos y sintéticos (Eyssautier de la Mora, 2006), y para ello el proceso incluye partes consecutivas de *recopilación y sistematización de la información asequible, con un posterior análisis* de lo concerniente a los diferentes bloques del sistema de monitoreo ambiental a escalas nacional, regional y local. Se pretende abarcar los últimos 20 o 30 años, dependiendo de la información disponible. Los dos métodos particulares en que se basará el trabajo conforme a un enfoque mixto de análisis que combinará lo cualitativo y lo cuantitativo son el experimental y el histórico. En particular, para el experimental se adoptan las técnicas de observación específica (investigación documental) y para el histórico se utilizan el análisis estadístico (recolección e interpretación de los datos) y el de georreferencia (Eyssautier de la Mora, 2006; Hernández Sampieri *et al.*, 2008).

Se considera que para la ejecución del proceso completo de la parte natural (atmósfera, biosfera, hidrosfera, litosfera) el sistema de monitoreo tiene que incorporar tres subsistemas: *i*) obtención de la información de entrada (posición geográfica, intereses involucrados); *ii*) monitoreo (mediciones de parámetros específicos en las estaciones establecidas), evaluación (formación de bases de datos y formas de presentación de información, por ejemplo mapas e informes) y pronósticos (cálculos), y *iii*) sistema de gestión (que produce medidas de mejoramiento de la situación ecológica en lo referente a las normas, acciones, disposiciones técnicas concretas, etc., a partir de la información analizada) (Belousova *et al.*, 2006). Dependiendo de los objetivos de los programas de acción concreta en que se vaya a usar la información obtenida, el sistema puede incorporar al proceso de evaluación los aspectos sociopolíticos.

Por eso en la investigación presente se busca información acerca de: *los objetivos de las redes existentes, los puntos de observación instalados, el equipamiento automatizado, el servicio brindado, el formato de representación de los datos de observación y las principales vías de usos de información obtenida*, entre otras particularidades. Si la disponibilidad de la información lo permite, se analizarán los datos en lo referente a *los períodos de observación, los parámetros medidos en cada red y la distribución espacial de los puntos de observación*. Para esto se utiliza la información de las bases de datos oficiales en formato digital, las estadísticas publicadas, las publicaciones científicas y la cartografía oficial en formato impreso y digital. En específico, las bases de datos de Simat (2007), Clicom (2000), Bandas (1999) e INEGI (1983), que contienen la información de las mediciones de la calidad del aire, las climatológicas, las hidrométricas y las de la calidad del agua en las respectivas estaciones de monitoreo.

Por medio del Sistema de Información Geográfica, SIG, se visualiza el proceso de la revisión. En este caso se usan las coberturas de topografía e hidrología superficial y subterránea elaboradas por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI, 2007 y 2007a) y se elaboran nuevas coberturas y mapas con base en éstas y en la información adicional que se encuentra en las bases de datos de las estaciones de monitoreo.

A partir del análisis propuesto se espera conocer los principales avances y limitaciones técnicos e institucionales de cada red del sistema de monitoreo ambiental para establecer las metas que se deben alcanzar con vías a su mejoramiento y proponer la incorporación de otros medios.

Resultados

De la recopilación, sistematización y análisis de la información obtenida en las bases de datos de observación ambiental, en las estadísticas accesibles y en la cartografía oficial se infiere que el actual sistema de monitoreo ambiental en México está constituido básicamente por tres bloques:

- 1) Sistema de Monitoreo Atmosférico (Simat), que se encarga de proporcionar la información sobre la calidad del aire.
- 2) Sistema de Observación Climatológica (SOC), que proporciona los datos sobre las características del clima.
- 3) Sistema de Observación Hidrológica (SOH), que ofrece los datos de la calidad y cantidad del agua superficial y subterránea, y en algunos casos de la sedimentación de los ríos y presas.

A continuación se presentan los detalles de cada bloque, según los puntos propuestos en el apartado de Metodología.

Simat

El Simat está incorporado al Sistema Nacional de Información de la Calidad del Aire (Sinaica), el cual reúne y difunde, por medio del Instituto Nacional de Ecología (INE), los datos que generan las principales redes de monitoreo atmosférico de la República Mexicana con el objetivo de dar a conocer la situación actual e histórica de la calidad del aire en diferentes ciudades del país. El Sinaica cuenta con tres subsistemas que facilitan la consulta de esta información: *i*) información en tiempo real, que da acceso por internet a los datos que proporcionan las Redes de Monitoreo Atmosférico (RMA); *ii*) bases de datos revisadas y validadas, con la información de las RMA (automáticas y manuales); *iii*) bases de datos históricas, que ofrecen información estadística sobre los contaminantes, el criterio y las variables meteorológicas que han sido validados por las mismas redes y por el INE <<http://ine.gob.mx>>.

A la fecha el Sinaica incluye las RMA de las áreas metropolitanas de las ciudades de México, Guadalajara, Toluca y Puebla (desde mediados de 1980); de Salamanca, León, Celaya, Irapuato, Monterrey, Ciudad Juárez, Tijuana-Rosarito-Tecate y Mexicali (desde 2004). Cabe mencio-

nar que de la operación y administración de las redes de monitoreo son responsables los gobiernos locales, por lo que para la instrumentación del Sinaica se ha requerido una constante interacción del personal del INE y los responsables operativos y administrativos de cada una de las redes.

La misión del Simat local de la Ciudad de México y su zona metropolitana es vigilar y evaluar el estado de la calidad del aire en esa área, informar oportunamente a los habitantes al respecto, y ofrecer los datos necesarios para el desarrollo e instrumentación de los programas de prevención de emergencias y mejoramiento de la calidad del aire (Simat, 2007). El Simat está integrado por:

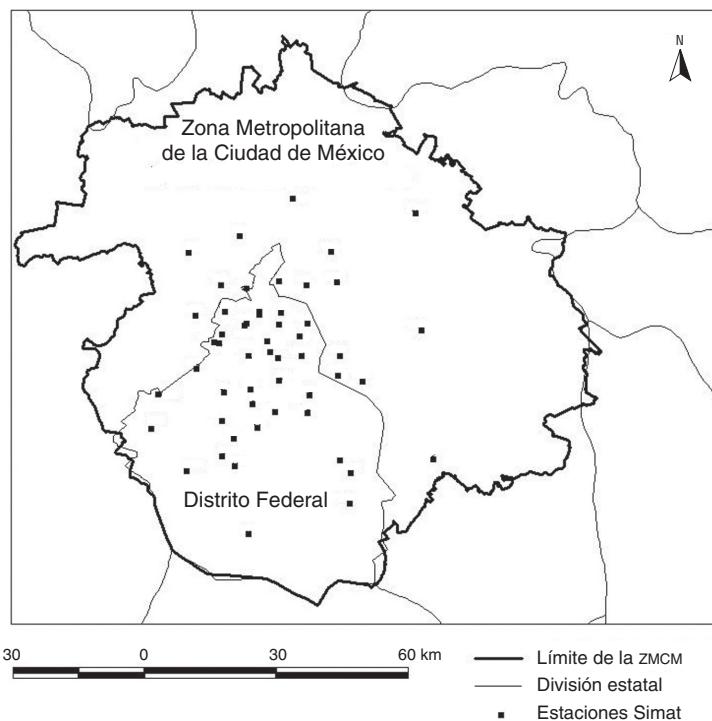
- Unidad Móvil de Monitoreo Atmosférico;
- Laboratorio de Transferencia de Estándares de Calibración; y
- Cuatro subsistemas operativos especializados:
 - RAMA (desde 1986) - Red Automática de Monitoreo Atmosférico,
 - Redma - Red Manual de Monitoreo Atmosférico,
 - Redda - Red de Depósito Atmosférico,
 - Redmet - Red Meteorológica.

Actualmente la red incluye 49 estaciones con 175 aparatos automáticos y 39 manuales instalados, en muchas de las cuales las observaciones se realizan al mismo tiempo para varios subsistemas (INEGI, 2005; Simat, 2007). Por ejemplo, las estaciones de Tlalnepantla y Xalostoc tienen equipos instalados para proporcionar datos para RAMA, Redma y Redda.

En particular, en la *RAMA* se efectúan las mediciones continuas y permanentes de ozono (O_3), dióxido de azufre (SO_2), óxidos de nitrógeno (NO_x), monóxido de carbono (CO), partículas menores a 10 y 2.5 micrómetros (PM_{10} y $PM_{2.5}$) y ácido sulfhídrico (H_2S). La información que proporciona esta red es primordial para la evaluación de la calidad del aire en la Ciudad de México y su difusión mediante el Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (Imeca). En la actualidad RAMA cuenta con 36 estaciones de monitoreo ubicadas en puntos estratégicos de la Ciudad de México, 24 localizadas en el Distrito Federal y 12 en el Estado de México (véase el mapa 2).

La *Redmet* tiene como función principal proporcionar la información de los parámetros para la elaboración del pronóstico meteorológico y los modelos de dispersión, cuyo fin es analizar el desplazamiento

MAPA 2

Estaciones de monitoreo de la calidad del aire de la Zona Metropolitana de la Ciudad de México

FUENTE: Elaboración propia con base en Simat, 2007.

to de los contaminantes en el aire. Además, permite informar a la población sobre el índice UV (luz ultravioleta), orientado a promover una saludable exposición a los rayos del sol. La información recabada se almacena para integrar bases de datos disponibles al público en general. La Redmet cuenta actualmente con 15 estaciones de monitoreo, en las cuales se miden: la velocidad del viento, la dirección del viento, la temperatura, la humedad relativa, la radiación UV-b y UV-a y la radiación global.

En la *Redma* se monitorean las concentraciones de partículas suspendidas totales (PST), PM_{10} y $PM_{2.5}$ en muestreos de 24 horas cada 6 días, así como concentraciones de algunos metales pesados, entre ellos,

plomo (Pb) y manganeso (Mn). Actualmente la Redma cuenta con 14 estaciones ubicadas estratégicamente en diversos puntos de la Ciudad de México, 9 se localizan en el Distrito Federal y 5 en el Estado de México.

La *Redda* es el subsistema del Simat mediante el cual se obtienen muestras semanales del depósito seco y húmedo (de agua pluvial) de la Ciudad de México con la determinación de las principales características fisicoquímicas del agua: el potencial del hidrógeno (pH), la conductividad eléctrica (CE), las concentraciones de aniones (nitratos, sulfatos y cloruros) y de cationes (amonio, calcio, magnesio, sodio y potasio). Este análisis permite conocer el depósito de las sustancias tóxicas desde el aire hacia la superficie terrestre y su intervención en la alteración de los elementos típicos del suelo y de las propiedades químicas del agua pluvial. La Redda cuenta actualmente con 16 estaciones de monitoreo en la Ciudad de México, de las cuales 12 se ubican en el Distrito Federal y 4 en el Estado de México.

La *Unidad Móvil* es un importante elemento de apoyo en el análisis de la calidad del aire. Se utiliza para realizar estudios específicos en lugares remotos donde el Simat no cuenta con estaciones fijas para la medición de contaminantes o parámetros meteorológicos. Con frecuencia participa en la evaluación del aire durante las emergencias, como las exhalaciones volcánicas, los derrames accidentales y los incendios forestales. Se ha utilizado tanto dentro de la ZMCM como en diferentes ciudades de la República Mexicana.

Con la información que proporciona el Simat se construyen índices, representados por cinco grandes sectores de la ciudad; las normas oficiales mexicanas y programas de acción local (SMA-DF, 2007). Tanto los datos obtenidos del monitoreo como el desempeño de las estaciones (suficiencia de la información, desempeño anual y suficiencia histórica) son evaluados por la Dirección de Monitoreo Atmosférico de la Secretaría de Medio Ambiente del Distrito Federal con el propósito de proporcionar información uniforme en términos de frecuencia y parámetros de mediciones de alta representatividad (superior a 75%, que en caso de mediciones de O_3 se presenta en 13 estaciones, de CO en 16 estaciones, de SO_2 en 19 y de PM_{10} en 10 estaciones) que permitan comparar los datos de diferentes estaciones en ciertos períodos de tiempo y a partir de ello obtener indicadores confiables de los contaminantes atmosféricos y los parámetros meteorológicos.

Gracias a la difusión de la cantidad y calidad de los datos que ofrece el Simat se han elaborado programas operativos específicos para

enfrentar la contaminación del aire en la Ciudad de México. En particular se trata de la adecuación del Programa Integral de la Contaminación del Aire (PICCA, 1990) y del Programa del Mejoramiento de la Calidad del Aire en la Cuenca de México (Proaire, 1995), cuya actividad resultó en la estabilización de las concentraciones de algunos contaminantes, como por ejemplo las partículas suspendidas menores de 10 micrómetros PM_{10} en los años de 1990 y luego, a partir del año 2000, su ligera reducción (SMA-DF, 2007) gracias al establecimiento del programa siguiente Proaire (2002). A pesar de ello, aún ahora se puede hablar de la situación de peligro en que se encuentra la población por la exposición a ciertos contaminantes que siguen superando los límites permisibles de las concentraciones promedio anuales. En el caso de PM_{10} su norma de $50 \mu\text{m}/\text{m}^3$ (NOM-025-SSA1-1993) ha sido superada dos veces en el año 2006.

Conviene comentar que en el programa Proaire (2002) adicionalmente se han elaborado y propuesto los siguientes indicadores básicos para agilizar el proceso de difusión y comprensión entre los habitantes: *i*) de calidad de aire, basados en las normas oficiales en emisiones de industria (13), en vehículos (10), en la calidad de combustibles (1), en monitoreo ambiental (5), en contaminantes normados para O_3 , CO , SO_2 , NO_2 , PST, Pb , PM_{10} , $PM_{2.5}$; *ii*) indicadores de salud, basados en criterios para riesgo a la salud humana; e *iii*) indicadores sociales y económicos, que integran variables como la percepción y la participación social, el riesgo ambiental, la comunicación ambiental y el gasto público para atender enfermedades, relacionados con la mala calidad del aire.

Se puede concluir que la misión del Sistema de Monitoreo Atmosférico de la ZMCM consistente en vigilar y evaluar el estado de la calidad del aire en la ciudad se ha cumplido de manera bastante satisfactoria. Dicho sistema ha merecido el primer lugar en desarrollo de monitoreo atmosférico en América Latina y es un ejemplo para muchos países del mundo. El Simat cuenta con un significativo número de estaciones y con gente entusiasta que realiza un monitoreo continuo. Se elaboran y se publican reportes del estado actual e histórico de la contaminación recabadas cada hora, y estadísticos que reúnen toda la información recopilada y se presentan en textos, mapas y gráficamente en un sitio público que aparece en internet. Además, desde el año 2000 el Simat se ha esforzado por homologar la operación de equipos de monitoreo automáticos y manuales de PM_{10} , en caso de $PM_{2.5}$ desde 2003, para garantizar la confiabilidad de los datos obtenidos (SMA-DF, 2007).

El principal problema que se advierte es la heterogénea distribución espacial de las estaciones de monitoreo, que no abarca todas las áreas de la ZMCM y presenta mayores concentraciones al norte de la ciudad. Reporta los valores interpolados de los contaminantes por grandes sectores de la urbe, de ahí que en el momento actual no proporcione información que sea adecuada y accesible para todos con el propósito de prevenir la exposición de la población a concentraciones emergentes. Además el monitoreo no incluye en su lista a ciertos potenciales contaminadores industriales y de transporte; al respecto falta mayor inversión en la modernización y el mantenimiento del equipo de muestreo, en un aumento de la cantidad de unidades móviles de monitoreo para atender los casos de emergencia y en proyectos específicos de investigación científica. Otro problema que enfrenta el Simat es el desinterés por la optimización de la legislación nacional en lo referente a la elaboración y el establecimiento de las nuevas normas mexicanas para la realización del muestreo, así como al equipamiento homólogo de las estaciones de monitoreo, al establecimiento de las concentraciones límite de varios elementos físicoquímicos en la atmósfera (como en el caso de las partículas suspendidas, que conforme a las indicaciones de la Organización Mundial de la Salud deben reducirse al mínimo posible para que no se vea afectada la salud humana), y también a la optimización de las mediciones a escala local y a la superación de la incompatibilidad de los inventarios de emisiones.

SOC

La Unidad del Servicio Meteorológico Nacional (SMN), institución creada en 1877 por decreto presidencial como el Observatorio Meteorológico y Astronómico de México, dependiente de la Comisión Geográfica Exploradora del Territorio Nacional es la encargada de recopilar y difundir la información climatológica federal en México. En su historia reciente, al crearse la Comisión Nacional del Agua (CNA) en 1989, el SMN se integró a la Subdirección General de Administración del Agua, y en 1990 se transformó en la actual Gerencia del SMN; en 1995 pasó a la Subdirección General Técnica de la CNA, que forma parte de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (Semarnat). Aunque varias organizaciones efectúan monitoreo climatológico local en forma de proyectos unitarios, sólo los datos que genera

el SMN se consideran oficiales; son gratuitos y accesibles para el público vía internet y en otras publicaciones de formato impreso o digital.

En la actualidad el SMN cuenta con el registro histórico (en algunos casos desde fines del siglo pasado hasta la fecha) de cerca de 5 mil estaciones climatológicas en el país, 94 estaciones automáticas, 15 estaciones de radiosondeo, 12 radares y 80 observatorios. Los observatorios meteorológicos trabajan las 24 horas del día durante todo el año, ininterrumpidamente, en cumplimiento de la normatividad de la Organización Meteorológica Mundial (OMM); sin embargo, debido a la falta de personal únicamente 27% labora de esta forma. Los resultados de las mediciones de la temperatura, la precipitación, la evaporización, la presión atmosférica, la dirección del viento, entre otros elementos, se reportan cada tres horas a tiempo real (mensajes sinópticos) al Centro Nacional de Telecomunicaciones Meteorológicas para que cumpliendo con los acuerdos internacionales sean transmitidos al Centro Meteorológico Mundial de Washington para su difusión mundial, así como a todos los usuarios nacionales. Ahí son procesados, organizados en bases de datos y publicados <<http://smn.cna.gob.mx/>>.

Los datos meteorológicos son muy importantes para la predicción del tiempo y con ello para la orientación de las actividades humanas y su adaptación a las actuales condiciones climáticas y a sus cambios. Los fenómenos atmosféricos inciden en los contaminantes del aire, sobre todo en su formación, su comportamiento, sus reacciones fotoquímicas y en la afectación a la salud de la población (INEGI, 2005). En específico, ciertos factores como la dirección del viento, la presión atmosférica y la temperatura son determinantes para la distribución espacial del ozono. Los datos climatológicos se utilizan en la elaboración de programas de acción local que servirán para la prevención del impacto del cambio climático global y para la formulación de planes de conservación ambiental y ordenamiento territorial.

En la Cuenca de México se cuenta con los registros de 193 estaciones climatológicas, de las cuales 99 se encuentran en la ZMCM y 43 en el Distrito Federal (INEGI, 2005). En promedio el área de influencia de cada estación es de aproximadamente 49.7 km², lo cual está dentro de las normas establecidas por la OMM (Campos, 2007), pero este parámetro no considera la distribución heterogénea de las estaciones por el territorio. En particular hay mayor concentración de las estaciones en el norte y noroeste del Distrito Federal, con poca y hasta nula presencia en otras zonas de la cuenca, lo que puede atribuirse al complicado relieve de la parte sur y a las diferencias en las condiciones eco-

nómicas, sociales, culturales y de desarrollo urbano en el territorio (véase el mapa 3). A pesar de que algunas de estas estaciones cuentan con el registro y con las series de datos de observación de varios años, ya no están en servicio.

Cabe mencionar que en la ZMCM se encuentran en operación las redes automáticas de estaciones pluviométricas controladas por otras organizaciones, como:

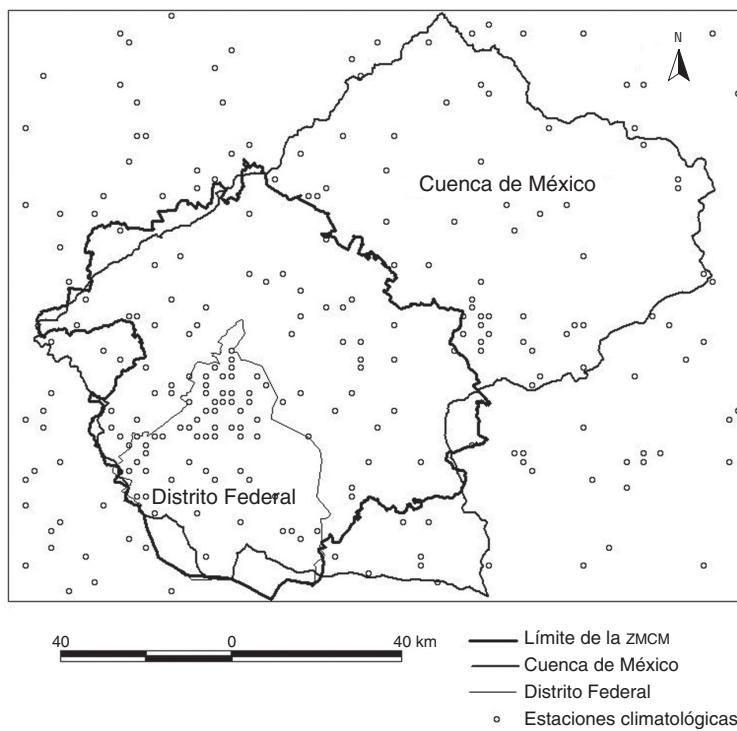
- la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) del Distrito Federal, con 29 estaciones;
- el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM), la Unidad Tormenta, que sirve para ofrecer datos suficientes acerca de la precipitación pluvial en la Cuenca de México con el fin de atender la problemática de las fuertes inundaciones en la ZMCM durante la temporada de lluvias, con 78 estaciones, y
- la Redmet del Simat, con 15 estaciones, que en algunos casos coinciden con la red nacional, como por ejemplo las estaciones de Chapingo y Tacubaya (INEGI, 2005).

Al cruzarse las funciones de organismos de diferente jerarquía administrativa se dificulta el trabajo operativo de obtención y uso adecuado de la información, porque las funciones de compartir datos, resultados o tareas no se fundamentan en principios. Las bases de datos de observación climatológica más completas y reconocidas en el país las elabora el Servicio Meteorológico Nacional: ERIC II (1998), ERIC III (2004), Clicom (2000) y el Sistema Mallas, que fue desarrollado recientemente. En el programa ERIC II puede obtenerse información estadística anterior a 1998 de algunas estaciones climatológicas del país; en el ERIC III, anterior a 2004, y en el Clicom se encuentra la información de todas las estaciones en cobertura nacional y con los registros actualizados. Puede consultarse directamente en el SMN. En el último *software* del Sistema Mallas la información climatológica es interpolada por celdas de 10 km por 10 km en todo el país, lo que facilita el acceso a la información en zonas donde no existen registros de las estaciones de monitoreo (zonas de relieve complicado o lejanas a las poblaciones).

A pesar de esto, en todas las bases de datos se observa que el monitoreo que se realiza en las estaciones climatológicas en muchos casos no es continuo en el tiempo, ya que presenta ausencias de registros en las series o absoluta falta de información, lo que suele relacionarse con

MAPA 3

Estaciones climatológicas de la Cuenca de México



el cierre de las estaciones. En particular desde los años 1980 el SOC ha enfrentado graves problemas que han ocasionado el cierre de éstas por cuestiones financieras. Además es cuestionable la confiabilidad de los datos de las estaciones de tipo no observatorio, no automáticas, debido al bajo salario de los aforadores, a que el equipo instalado es antiguo o no homologado; a que hay pocos radares instalados en el país; y también a que el vandalismo asuela las estaciones climatológicas ubicadas en territorios lejanos, donde es imposible establecer vigilancia permanente para cuidar las instalaciones.

SOH

En México, la Comisión Nacional del Agua (Conagua) es el organismo responsable en el plano federal de administrar las aguas nacionales y sus bienes públicos inherentes, de acuerdo con lo establecido en la Ley de Aguas Nacionales, reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos (Conagua, 2005a). El monitoreo hidrológico lo realiza la Subdirección General Técnica en las Gerencias de Aguas Superficiales e Ingeniería de Ríos, Aguas Subterráneas y de Saneamiento, y Calidad del Agua; éste consiste en las observaciones de la cantidad y calidad del agua superficial y subterránea en las estaciones hidrométricas, en los pozos piloto y en los puntos de medición de la calidad del agua, respectivamente.

El objetivo principal del SOH consiste en ofrecer datos hidrométricos –como volumen, caudal, nivel, calidad del agua y sedimentación de los cauces fluviales– para su utilización en múltiples proyectos (hidroeléctricos, de infraestructura de agua potable y residual, etc.) y cálculos hidrológicos, tanto de la disponibilidad del agua y del balance hidrológico como de la regionalización territorial, los pronósticos hidrológicos, los modelos del escurrimiento y de la transmisión de contaminantes, al igual que de los cambios en el caudal bajo influencia antrópica, incluyendo el cambio climático.

En la ZMCM el monitoreo hidrológico lo realizan varias organizaciones:

- la Comisión Federal de Electricidad (CFE);
- la Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica (DGCOH) del Gobierno de Distrito Federal;
- la Gerencia Regional XIII del Valle de México y Sistema Cutzamala (Gravamex) en la representación de la Conagua, y
- el Sistema de Aguas de la Ciudad de México (SACM), entre otras.

El amplio establecimiento de la red oficial de monitoreo hidrológico nacional se remite a los tiempos de la formación de la Secretaría de Recursos Hídricos (SRH), en 1946. La historia institucional ha transcurrido en varias etapas: Dirección del Agua, Tierra y Colonización, 1917; Comisión Nacional de Irrigación, 1926; Secretaría de Recursos Hídricos, 1946; Secretaría de Agricultura y Recursos Hídricos, 1976; Comisión Nacional del Agua, 1989; Conagua, a partir de 2004.

La diversidad de instituciones participantes en el proceso del monitoreo hidrológico de la cuenca se ha reflejado en la complejidad de la estructura de la gestión del agua en la ZMCM, pues el cruce en varios planos de las funciones de distintas organizaciones entorpece el proceso de gestión, al no compartirse las tareas, los medios y los datos (relacionados con diversos aspectos, entre los cuales están los intereses políticos de los diferentes partidos en el poder):

- *Federal*: Conagua, Semarnat, Gerencia Regional XIII de Conagua;
- *Estatal*: Sistema de Aguas de la Ciudad de México, División General de Construcción y Operación Hidráulica, Gerencias Estatales de Conagua, como la Comisión del Agua del Estado de México (CAEM);
- *Municipal*: organismos específicos en las delegaciones y municipios, como los organismos operadores del Sistema del Agua Potable y Saneamiento (SAPAS), comités municipales, Organizaciones No Gubernamentales (ONG), patronatos, etcétera.

Los datos de observación hidrométrica de la red nacional del agua superficial se integran en la base digital Bandas (1999), elaborada por el Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. En ella se encuentra la información de las 2 014 estaciones hidrométricas y varias presas del país, con los registros del periodo 1902-1999. El formato de presentación de los datos hídricos en Bandas es compatible con los programas procesadores de textos y hojas de cálculo, que sin duda facilitan su análisis estadístico, su utilización en la elaboración cartográfica y en la regionalización territorial. Los problemas aquí son la validación de la base y la representatividad de los datos, relacionadas con los errores internos de la sustitución de datos que en ocasiones llegan a 7% (Petrovchikova, 2006).

Conviene comentar que en 1999 se encontraban en servicio en la Cuenca de México sólo 19 estaciones hidrométricas, de las cuales una estaba ubicada en el estado de Tlaxcala, cuatro en Hidalgo y 14 en el Estado de México. Este pequeño número refleja la drástica disminución de la cantidad de estaciones en las últimas décadas: de 55 en 1981 a 44 en 1994, etc. La densidad promedio de las estaciones es de 0.002, lo que significa en términos espaciales la distribución de una estación por cada 505 km², lo que todavía queda dentro de los parámetros establecidos por la Organización Mundial de Meteorología (Campos,

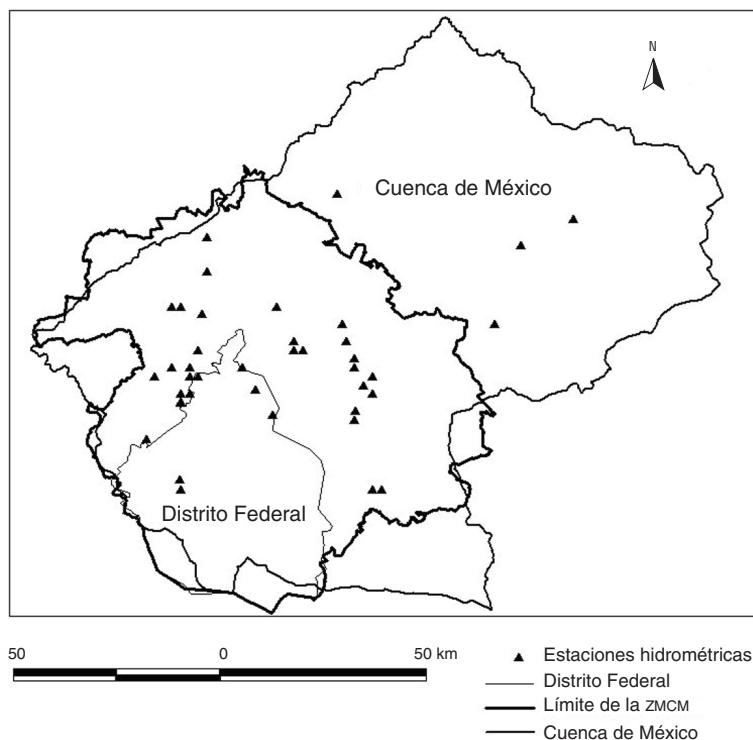
2007). Sin embargo en realidad la zona de influencia de cada estación varía de sólo algunos km² hasta más de 2 mil km² por la construcción de polígonos de Thiessen (Linsley *et al.*, 1975), como es el caso de las estaciones de San Jerónimo y Presa Rojo Gómez, ubicadas en la parte noreste de la cuenca (véase el mapa 4). Además, cabe destacar que la mayoría de las estaciones están ubicadas en los cauces de escurrimientos modificados artificialmente (no flujo natural); en específico, en canales de agua residual, lo que imposibilita la obtención de variaciones de flujo libre de la influencia antrópica. Sin embargo, más de la mitad de estas 19 estaciones que estaban en servicio para 1999 tienen un periodo de observación mayor de 30 años, aunque en diferentes periodos cada una, lo que es un indicador de representatividad importante para los cálculos estadísticos.

Los problemas que enfrenta el actual SOH son prácticamente los mismos que los del SOC. En específico se refiere a: *i*) la distribución heterogénea de las estaciones de monitoreo por el territorio de la cuenca; *ii*) la incontinuidad de los datos en las series del tiempo; *iii*) la imposibilidad de obtener los datos de diferentes organizaciones en un solo informe; *iv*) el cierre de muchas estaciones por cuestiones financieras a partir de los años 1980; *v*) las pocas estaciones automáticas instaladas. A todo esto se agrega la ausencia de informes hidrológicos sistemáticos de carácter local, considerando la cantidad de información que han generado todas las instituciones que participan en el proceso de observación (oficiales y no oficiales, como la academia y las ONG); la ausencia de cartografía oficial actualizada y accesible al público en general que esté basada en los datos de todo el periodo de observación de las estaciones y considere las tendencias de los cambios; la ausencia de regionalización hidrológica actualizada y de pronósticos hidrológicos, teniendo en cuenta los nuevos padrones de escurrimiento modificados por la influencia antrópica.

En lo que respecta al *monitoreo de la calidad del agua*, en México hay registro de un total de 1 026 puntos de observación establecidos por la Red Nacional de Monitoreo de la calidad del agua, con 591 puntos instalados en aguas superficiales, 123 en aguas costeras, 231 en subterráneas y 81 puntos de referencia. En la RHA XIII el monitoreo se efectúa en 39 puntos (Conagua, 2006a), de los cuales 25 son de agua superficial y 14 de agua subterránea. Las mediciones en agua superficial sólo en 16 puntos tienen carácter permanente y en los demás temporal. Los componentes medidos en ambos casos son la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅) y la Demanda Química de Oxígeno

MAPA 4

Estaciones hidrométricas de la Cuenca de México



FUENTE: Elaboración propia con base en Bandas, 1999.

(DQO). En el país existen 443 puntos de monitoreo de DBO_5 , 429 de DQO y 406 de mediciones de sólidos totales disueltos (STD). Según la información de la Conagua (2006a), en la ZMCM se encuentran cauces fluviales en el rango de fuertemente contaminados con concentraciones de DBO_5 mayores a 120 mg/l a aceptables (de 6 a 30 mg/l); y por la DQO en el rango de aceptables (20-40 mg/l) a fuertemente contaminados (mayor a 200 mg/l), con la presencia de un solo punto de observación con calidad excelente y también uno de buena calidad.

En la cobertura nacional la información de la calidad del agua se recopila y sistematiza en la base de datos que fue elaborada por el Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI), que se presentó en su única edición de 1983 y que fue digitalizada en 2003.

Los datos más actualizados pueden encontrarse en forma dispersa en algunos informes técnicos de las gerencias regionales de la Conagua. Recientemente la Gerencia de Saneamiento y Calidad del Agua de la Dirección Técnica de Conagua (2005b) elaboró un manual destinado a operar el Sistema de la Red Nacional de Monitoreo de la Calidad del Agua, en el que sigue el formato de Bandas, para la captura de datos sobre la contaminación del agua subterránea y superficial en los puntos de monitoreo establecidos en el país. Esta nueva herramienta permitirá contar en un futuro con una base más completa y actualizada sobre la calidad del agua.

Las principales limitaciones de esta red de monitoreo se resumen en lo siguiente: 1) la no actualización de los datos utilizados en estadísticas oficiales; 2) la poca cantidad de puntos de monitoreo; 3) la ubicación heterogénea de los puntos; 4) la no continuidad de las series del tiempo, y 5) los registros incompletos en las estadísticas publicadas.

Cabe comentar que sobre esta materia existen las siguientes normas oficiales mexicanas elaboradas en el periodo de 1993 a 2006 con base en la información disponible de los datos hidrológicos observados (Conagua, 2008a):

- Siete normas de Semarnat relativas a los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas en aguas nacionales, sistemas municipales, aguas residuales y para el aprovechamiento de lodos y biosólidos; especificaciones de protección ambiental, preservación, conservación de los humedales costeros; procedimientos para caracterizar los jales.
- Doce normas de Conagua relativas a la conservación del agua, sistemas de alcantarillado, toma domiciliaria, requisitos de construcción de pozos de extracción de agua, para la protección de acuíferos, especificaciones de medidores de flujo, fosas sépticas prefabricadas, tanques de agua, regaderas, válvulas de admisión y de descargas para inodoro, redes de distribución de agua potable.
- Seis normas emitidas por la Secretaría de Salud en salud ambiental en lo referente al agua para uso y consumo humano: límites permisibles de calidad, tratamiento, requisitos de transporte, muestreo, vigilancia y evaluación del control de calidad, requisitos de los sistemas de abastecimiento público y privado.

Sin embargo, a pesar de la aparente abundancia en esta dirección, falta trabajo para concretar las normas con relación a lo establecido respecto a los parámetros máximos permisibles de los contaminantes; al procedimiento de cálculo de balance hídrico, incorporando la parte subterránea y las modificaciones bajo influencia antrópica; a las construcciones futuras, que tomen en cuenta la captación y almacenamiento de agua pluvial; al proceso de tratamiento y reuso de aguas residuales para diferentes usos públicos (doméstico, industrial, agrícola, etc.). Con este propósito sería necesario realizar investigaciones en el campo de análisis de eficiencia del uso del dato obtenido de la red de monitoreo ambiental actual dentro del proceso de la gestión integral, tanto para detectar los datos que realmente es necesario medir, como para minimizar los costos en su obtención e incrementar la confiabilidad y la representatividad de los mismos.

Propuesta

Otro reto sería lograr que el sistema de monitoreo ambiental fuera eficiente y también realmente integral para lograr los objetivos de sustentabilidad, aunado a la parte *ambiental*, la *social* y la *económica* (Dmitriev y Frumin, 2004). El complemento de lo ambiental con lo social y económico es factible por medio de los *indicadores*, entre cuyas cualidades figura el que simplifican o resumen las propiedades más importantes, y así es posible visualizar fenómenos de interés, cuantificar y comunicar información relevante (Gallopin, 1997). El uso de indicadores se encuentra ampliamente difundido en diversas instituciones nacionales e internacionales en materia ambiental. El Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD, 2007) ha publicado los indicadores de desarrollo sustentable; la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE, 2001), y la Organización de las Naciones Unidas para la Ciencia, la Educación y la Cultura, UNESCO (UNESCO, SCOPE, 2006), a su vez han publicado sus indicadores ambientales con el propósito de evaluar el progreso en materia ambiental. Por otra parte, en México la Semarnat (2005) ha elaborado también los indicadores básicos de desempeño ambiental, y la Conagua (2008b) ha presentado los cubos de información socioeconómica en torno al agua.

En particular la Semarnat propone la organización de toda la información en cuatro rubros: dimensión social (datos demográficos,

vivienda, educación, pobreza y migración; desastres naturales y salud ambiental); dimensión económica (cuentas ambientales e información sobre principales actividades económicas del país asociados al ambiente; datos de la producción de hidrocarburos y electricidad, extracción de minerales, etc.); dimensión ambiental (información referente al agua, aire, biodiversidad, residuos sólidos, recursos forestales y suelos); dimensión institucional (normatividad ambiental y su cumplimiento, gasto público en materia ambiental). Sin embargo el problema es la escala de comparación de los indicadores: los internacionales, y en muchos casos los nacionales, no tienen la base necesaria para adoptarlos y manejarlos en el ámbito local por la falta o la baja calidad de la información inicial que se obtiene del sistema de monitoreo actual.

En particular en los casos del agua y el aire se podrían utilizar los datos sobre los cambios en la demanda del agua ocasionados por el crecimiento poblacional, el aumento en la construcción de la vivienda popular particular, el desarrollo industrial, etc., junto con algunas características económicas de la población (por ejemplo del ingreso, de la producción, y del producto interno bruto), el grado de acceso a los servicios de agua potable y drenaje, el acceso al servicio de la salud, entre otros aspectos, con el fin de analizar su interrelación con las enfermedades provocadas por la degradación de la calidad del aire y del agua, o la ausencia y mala calidad del servicio. El trabajo en este caso se referiría a las unidades administrativas locales, es decir, a los municipios. Primero, por ser los últimos en la responsabilidad operativa de suministrar el recurso a la población, y segundo, por contar con la información oficial suficiente. En cuanto a los datos sociales y económicos necesarios, pueden obtenerse de los conteos poblacionales que realiza el INEGI a escala nacional cada cinco años desde 1990, de los cubos portátiles de Conagua (2008b) y de la Secretaría de Salud de México.

Resolver el problema de comparación y adaptación de los indicadores a escala local (por la diferencia en la frecuencia de las mediciones, sus unidades de medición, distribución y representatividad espacial de parámetros medidos) no es una tarea fácil. Requiere la realización de otra investigación, dada la complejidad metodológica, técnica e institucional interna de los indicadores que representa. Sin embargo, sin ella no se podrá proceder con el análisis de la situación ambiental en que se asignarían pesos específicos a los indicadores seleccionados y se elaborarían escenarios, dependiendo de los intereses propios de los programas a desarrollar.

Conclusiones

Como se ha observado, el sistema de monitoreo ambiental tiene un lugar de crucial importancia en la ejecución administrativa del proceso de manejo integral y ecosistémico de los recursos naturales. De la eficiencia del sistema de monitoreo, y en particular de su actualización tecnológica, de su integración (concordancia con el marco legislativo, institucional, académico, etc.), de la confiabilidad de los datos, la continuidad de las series del tiempo y la representatividad espacial de las estaciones, depende la calidad de la información que se proporciona para la toma de decisiones. Es una parte indispensable para la formulación del diagnóstico de la situación ambiental en que se basa la elaboración de las políticas públicas al respecto.

Después de revisar la situación actual del sistema de monitoreo ambiental en la Zona Metropolitana de la Ciudad de México se constata que éste incorpora tres bloques: la calidad del aire Simat, la observación climatológica SOC y el monitoreo hidrológico SOH, en los cuales se observan aspectos positivos y de importante alcance, y elementos que limitan su funcionamiento.

En particular el Simat ha logrado un gran avance en su instrumentalización nacional, con importantes logros en la ZMCM. Esto se ha reflejado en la creación del Sinaica, en el constante desarrollo tecnológico y normativo del sistema, el establecimiento de nuevas estaciones de monitoreo, la estandarización del equipo instalado y la actualización legislativa; en la elaboración de bases de datos, la publicación de informes con datos históricos y el libre acceso por internet. Todo ello en conjunto ha llevado a México a ocupar el primer lugar en América Latina en el desarrollo de este tipo de monitoreo, y a que sea un ejemplo a seguir para muchos países. Sería importante aprovechar la experiencia exitosa de este bloque de monitoreo ambiental para mejorar la situación de los demás.

El SOC cuenta con un número significativo de registros de las estaciones climatológicas tanto en el país como en la zona metropolitana. Aunque desde 1980 ha ido disminuyendo en forma paulatina su número de estaciones, en los últimos años ha actualizado las tecnologías que utiliza e instalado en el país más equipos automáticos, radares, estaciones de tipo observatorio, y a la vez ha desarrollado paquetería computacional para mejorar la elaboración y visualización de los pronósticos del clima y la organización de bases de datos públicas.

En comparación con estos dos sistemas, el SOH se ve en situación crítica por la disminución catastrófica de la cantidad de estaciones de monitoreo desde 1980, la incontinuidad temporal de las series de datos, la carencia de cartografía actualizada y la ausencia de regionalización actual del escurrimiento y pronósticos hidrológicos, teniendo en cuenta las modificaciones en los padrones del ciclo hidrológico bajo influencia antrópica.

Otros problemas comunes y limitantes que se han detectado en los tres subsistemas son:

- distribución heterogénea de estaciones y puntos de monitoreo atmosférico, climatológico, hidrológico y de calidad del agua por el territorio del país y a escala local;
- no representatividad de los datos obtenidos espacial y temporalmente;
- complejidad institucional del sistema de monitoreo que dificulta el proceso de gestión;
- ausencia de informes estadísticos sistémicos generados a escala local, teniendo en cuenta los datos de todos los organismos que realizan el monitoreo;
- ausencia o mala calidad de datos de sustento para la adaptación de indicadores ambientales que reflejen estándares internacionales.

De este modo se pueden proponer los siguientes objetivos que deberán lograrse para mejorar el desempeño del sistema de monitoreo actual:

- mayor inversión en el mantenimiento de la infraestructura instalada, el desarrollo y la adecuación de las tecnologías más eficientes en los sitios de muestreo;
- optimización de la ubicación espacial de las estaciones de monitoreo y los parámetros medidos en función de su uso para la toma de decisiones;
- realización de estudios científicos sobre la eficiencia del uso del dato obtenido del monitoreo ambiental y sobre la resolución de la problemática de indicadores ambientales;
- preparación de cuadros profesionales para fortalecer el proceso de gestión;
- apoyo a la educación ambiental y a las acciones sociales sobre la importancia del monitoreo;

- fortalecimiento de la parte legal y normativa para el monitoreo ambiental y el uso de la información obtenida;
- fortalecimiento de la operatividad institucional y la colaboración interinstitucional para la distribución y la transparencia de los datos.

Consideramos que logrando que se fortalezca el sistema de monitoreo ambiental, complementándolo con los aspectos social y económico, y resolviendo algunos problemas como el aseguramiento de la calidad de la información obtenida, la validación de las bases de datos y la representabilidad de las estaciones de monitoreo, se podrá ofrecer una herramienta administrativa práctica y eficiente para el fortalecimiento del proceso de la instrumentación del manejo integral y ecosistémico de los recursos naturales en México.

Bibliografía

Agenda 21 (1992), *Programa de Acción para el Desarrollo Sostenible*, Río de Janeiro, CNUMAD.

Andrade Pérez, Andrea (2004), *Lineamientos para la aplicación del enfoque ecosistémico a la gestión integral del recurso hídrico*, México, PNUMA/Red de Formación Ambiental (Manuales de Educación y Capacitación Ambiental, 8).

Bailey, Robert G. (1995), *Ecosystem Geography*, Nueva York, Springer.

Bandas (1999), *Banco Nacional de Datos de Aguas Superficiales*, México, IMTA-CNA, 7 CD.

Belousova, A.P., I.K. Gavich, A.B. Lisenkov y E.V. Popov (2006), *Hidrogeología ecológica*, Moscú, Editorial IKC Akademkniga, pp. 340-371 (en ruso).

CAMA (1992), *Declaración de Dublín sobre el agua y desarrollo sostenible*, Dublín, Conferencia sobre el Agua y el Medio Ambiente.

Campos Aranda, Daniel F. (2007), *Estimación y aprovechamiento del escurrimiento*, San Luis Potosí, UASLP.

Carabias, J., R. Landa, J. Collado y P. Martínez (2005), *Agua, medio ambiente y sociedad. Hacia la gestión integral de los recursos hídricos* en México, México, UNAM/El Colegio de México/Fundación Gonzalo Río Arronte.

Casado Granados, E. (1997), *La gestión integral del medio ambiente en la administración local*, Granada, CEMCI.

Clicom (2000), *Climatological Computarization. Base de datos de observación climatológica*, México, SMN, Conagua, formato digital.

Conagua (2004), *Estadísticas del agua en México, 2004*, México, Conagua.

Conagua (2005a), *Estadísticas del agua 2005: Análisis del Valle de México y Sistema Cutzamala. Región XIII*, México, Conagua.

Conagua (2005b), *Manual de operación del Sistema de Red Nacional de Monitoreo (SIRNM)*, México, Conagua.

Conagua (2006), *Estadísticas del agua en México, edición 2006*, México, Conagua.

Conagua (2006a), *Estadísticas del agua 2006: Aguas del Valle de México y Sistema Cutzamala. Región XIII*, México, Conagua.

Conagua (2008a), *Estadísticas del agua en México, edición 2008*, México, Conagua.

Conagua (2008b), *Cubos portátiles de información 2008*, México, Conagua, 1 CD.

DGCOH (1997), *Plan Maestro de Agua Potable del Distrito Federal 1997-2010. Informe final*, México, Departamento del Distrito Federal, Secretaría de Obras y Servicios, Dirección General de Construcción y Operación Hidráulica.

Dmitriev, Vasilij V. y G.T. Frumin (2004), *Normalización ecológica y sustentabilidad de sistemas naturales*, Rusia, Ed. Nauka (en ruso).

ERIC II (1998), *Extractor Rápido de la Información Climatológica: Base de datos de estaciones climatológicas (1893-1998)*, México, SMN-CNA, 1 CD.

ERIC III (2004), *Extractor Rápido de la Información Climatológica: Base de datos de estaciones climatológicas (1893-2004)*, México, SMN-CNA, 1 CD.

Eyssautier de la Mora, Maurice (2006), *Metodología de la investigación. Desarrollo de la inteligencia*, 5^a edición, México, CENGAGE Learning.

FEMISCA (2008), *La sustentabilidad en las grandes ciudades. Memoria técnica*, XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sanitaria y Ciencias Ambientales, FEMISCA, AIDIS, SMA-DF, 1 CD.

García, Rolando (1987), *Deterioro ambiental y pobreza en la abundancia productiva (caso de la Comarca Lagunera)*, México, Cinvestav, IPN.

Gallopín, J.C. (1997), “Indicators and their Use: Information for Decision Making”, en B. Moldan, S. Billharz y R. Matraers (eds.), *Sustainable Indicators. A Report on the Project on Indicators of Sustainable Development*, Chichester, John Wiley and Sons.

Gleick, H.P. (2000), *Agua: las consecuencias potenciales de la variabilidad y el cambio climático en los recursos hidráulicos de Estados Unidos. Informe del equipo de evaluación del sector hidráulico del National Assessment sobre las consecuencias potenciales de la variabilidad y el cambio climático*, Estados Unidos, Programa de Investigación de Cambio Climático, US Geological Survey.

Gorman, Hugh S. y Erik M. Conway (2005), “Monitoring the Environment: Taking a Historical Perspective”, *Environmental Monitoring and Assessment*, núm. 106, pp. 1-10.

Hernández Sampieri, Robert, Carlos Fernández-Collado y Pilar Baptista Lucio (2008), *Metodología de la investigación*, 4^a edición, México, Mc Graw Hill.

Herrera, Jiliberto Rodrigo (coord.) (2000), *Indicadores ambientales. Una propuesta para España*, España, Ministerio de Medio Ambiente.

Huggett, Richard John (1995), *Geoecology an Evolutionary Approach*, Nueva York, Routledge.

INE (2006), *La investigación ambiental para la toma de decisiones. INE 2001-2006*, México, INE-Semarnat.

INEGI (1983), *Carta de agua subterránea*; hoja Ciudad de México E14-2, escala 1:250 000, México, INEGI, formato impreso y digital.

INEGI (2005), *Estadísticas del medio ambiente del Distrito Federal y Zona Metropolitana 2002*, México, INEGI/SMA-GDF.

INEGI (2007), *Conjunto de datos toponímicos, Topografía*, hoja E14-2, escala 1.250 000, México, INEGI, formato digital.

INEGI (2007a), *Conjunto de datos vectoriales. Hidrología, aguas superficiales, serie 1 (1983)*, hoja E14-2, escala 1.250 000, México, INEGI, formato digital.

Linsley, R.K., M.A. Kohler y J.L.H. Paulhus (1975), *Hydrology for Engineers*, 2^a edición, Nueva York, McGraw-Hill (McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering).

Leimgruber, Piter, Catherine A. Christen y Alison Laborderie (2005), "The Impact of Landsat Satellite Monitoring on Conservation Biology", *Environmental Monitoring and Assessment*, núm. 106, pp. 81-101.

Longhurst, James (2005), "1 to 100: Creating an Air Quality Index in Pittsburgh", *Environmental Monitoring and Assessment*, núm. 106, pp. 27-42.

Manos, B., Th. Bournaris, N. Silleos, V. Antonopoulos y J. Papathanasiou (2004), "A Decision Support System Approach for Rivers Monitoring and Sustainable Management", *Environmental Monitoring and Assessment*, núm. 96, pp. 85-98.

Marshall, Ian B., C.A. Scott Smith y Corrine J. Selby (1996), "A National Framework for Monitoring and Reporting on Environmental Sustainability in Canada", *Environmental Monitoring and Assessment*, núm. 39, pp. 25-38.

Meadows, D.H., D.L. Meadows, J. Randers y W.W. Behrens III (1972), *Limits to Growth*, Nueva York, Universe Books.

Mehaffey, M.H., M.S. Nash, T.G. Wade, D.W. Ebert, K.B. Jones y A. Rager (2005), "Linking Land Cover and Water Quality in New York City's Water Supply Watersheds", *Environmental Monitoring and Assessment*, núm. 107, pp. 29-44.

Melosi, M.V. (2001), *The Sanitary City: Urban Infrastructure in America from Colonial Times to the Present*, Baltimore, Johns Hopkins University Press.

NOM-025-SSA1-1993. *Salud ambiental. Criterios para evaluar el valor límite permisible para la concentración de material particulado. Valor límite permisible para la concentración de partículas suspendidas totales PST, partículas menores de 10 micrómetros PM₁₀ y partículas menores de 2.5 micrómetros PM_{2.5} de la calidad del aire ambiente. Criterios para evaluar la calidad del aire. Modificación a la Norma Oficial Mexicana*, Diario Oficial de la Federación, México, 16 de octubre de 2002.

OCDE (2001), *Towards Sustainable Development: Environmental Indicators 2001*, París, OCDE.

Odum, E.P. (1982), *Ecología*, 3^a edición, México, Nueva Editorial Interamericana (traducción al español).

Perevorchikova, M. (2006), "Análisis de cambios del régimen fluvial bajo influencia de la actividad económica", *Revista Mexicana de Ingeniería Hidráulica*, vol. 21, núm. 2, pp. 85-94.

PICCA (1990), *Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica 1990-1995*, México, Gobierno Federal, GEM/GDF.

PNUD (2007), *Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies*, United Nations.

PNUMA (1972), *Conferencia de las Naciones Unidas, Establecimiento del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente*, Estocolmo, ONU.

Proaire (1995), *Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000*, México, SMA-GDF.

Proaire (2002), *Programa para Mejorar la Calidad del Aire de la Zona Metropolitana del Valle de México 2002-2010*, México, SMA-GDF.

Ramsar (1971), *Convention on Wetlands. Final Act of the International Conference on the Conservation of Wetland and Waterflow Held*, Ramsar, Irán.

Ramsar (2002), *Convention on Wetlands. New Guidelines for Management Planning for Ramsar Sites and other Wetlands*, *Conferencia de las Partes Contratantes de la Convención de Ramsar (COP8)*, Resolución VIII 14, España.

Rappaport, R.A. (1968), *Pigs for the Ancestors: Ritual in the Ecology of a New Guinea People*, New Haven, Yale University Press.

Reboratti, C. (1999), *Ambiente y población. Conceptos y relaciones*, México, Planeta.

Richling, A. y M. Osowiec (eds.) (2001), *Landscape Ecological Methods for Strongly Transformed Areas*, Warsaw, Warsaw University.

Shiklomanov, I.A. (1989), *Influencia de la actividad antrópica en escurrimiento fluvial*, Leningrado, Gidrometeoizdat (en ruso).

Shelutko, V.A. (2002), *Problemas geoecológicos de las ciudades grandes y zonas industriales. Preguntas de ecología aplicada*, Rusia, RGGMU (en ruso).

Semarnat (2005), *Indicadores básicos de desempeño ambiental*, Semarnat, 1 CD.

Simat (2007), *Mapa sensible del Simat (Sistema de Monitoreo Atmosférico de la Ciudad de México)*, México, Secretaría del Medio Ambiente del Distrito Federal. Disponible en: <http://www.sma.df.gob.mx/simat/pnrednueva.htm>.

SMA-DF (2007), *La calidad del aire en la Zona Metropolitana del Valle de México 1986-2006. Informe del estado y tendencias de la contaminación atmosférica*, México, SMA-DF.

The Rockefeller Foundation (1977), "International Environmental Monitoring a Bellagio Conference. Conference Report", Documento de Trabajo, Nueva York, The Rockefeller Foundation.

Tortajada, C. (1999), *Environmental Sustainability of Water Management in Mexico*, México, Third World Centre for Water Management with the Support of the Ford Foundation.

Tortajada, C., V. Guerrero y R. Sandoval (2004), *Hacia una gestión integral del agua en México: retos y alternativas*, México, Miguel Ángel Porrúa.

UNESCO, SCOPE (2006), "Indicators of Sustainability: Reliable Tools for Decision Making", UNESCO-SCOPE Policy Briefs, mayo, núm. 1, París, UNESCO-SCOPE.

UNDP (2005), *Integrated Water Resources Management Plans: Training Manual and Operational Guide*, Cap-Nat, Global Water Partnership.

UNEP, CBD (2000), *Decision V/6. Ecosystem Approach. Fifth Ordinary Meeting of the Conference of the Parties*, Nairobi.

UNFPA (2004), *El estado actual de población mundial 2004: Migración y Urbanización*, United Nations Population Fund. Disponible en: <<http://www.unfpa.org/swp/2004/espanol/ch4/index.htm>>.